



次世代ブロードバンドアクセスネットワークのキー技術

今井 崇雅*

Key Technologies of Next Generation Broadband Access Network

Takamasa IMAI*

1. はじめに

1. 1 情報ネットワークの進展

1990年代半ば以降、インターネットの商用化、普及によりわが国の流通トラフィック規模は年率1.5倍から2倍で指数関数的に増大し続けている[1], [2]. このユーザまでのトラフィックを担う情報ネットワークは、図1に示すようにユーザと通信会社ビル間の通信を行うアクセスネットワーク及び通信会社ビル間の通信を行うコアネットワークから構成される。指数関数的な需要増を満たすため、コアネットワークでは、この10年間で伝送媒体である光ファイバあたりの伝送容量を数Gbit/sから1Tbit/s程度へ約1000倍増を可能とする数々の技術の研究、それを適用した新規通信システムの開発・導入が行われてきた[3], [4], [5].

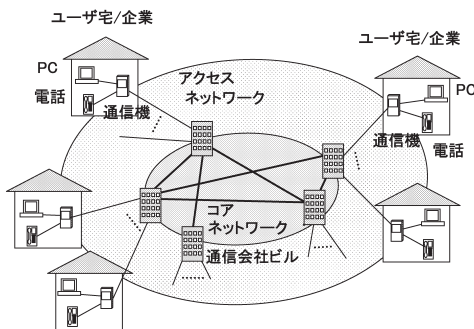


図1 情報ネットワークの構成

コアネットワークでは、多くのユーザの情報を1システムで一括して伝送することにより、ユーザ当たりの設

備費及び工事費の低減を図れる。このため開発した新規システムの追加・更改を経済的に行うことは比較的容易である。一方アクセスネットワークは、1ユーザのための設備の割合が多いため、システムの新設はユーザあたりの通信コスト増に直結しやすい。特に線路設備は物品費に加えて工事費用もかかることから新設・増設上特に留意が必要である。このため、アクセスネットワークでは既敷設のメタル線路で実現可能なISDN, ADSLなどによるサービス大容量化を優先して実現してきた。しかし、一般ユーザも十年程前の数十～100kbit/sのモデムやISDN中心から、イーサネットなどをインタフェースとする10～100Mbit/sとやはり以前の約1000倍容量のサービスへの需要が急増する状況となっている。このため一般ユーザ向けのアクセスネットワークでも、数桁違いの需要増に対応可能な新規線路敷設も念頭に置いたブロードバンドシステムが囑望されてきた。

アクセス系線路は

- ・ 今後の長期間の需要増に応えられること
- ・ 敷設工事が容易であること

が望ましい。この観点から、

- ・ 数十THz以上の通過帯域をもち、数十Tbit/s以上の潜在的な伝送可能性を有する
- ・ 軽量かつ細径で敷設に場所をとらない

光ファイバ線路を活用した光アクセスネットワークに関する研究・開発が進められてきている [6].

1. 2 アクセスネットワークの課題

光アクセスネットワークの研究は後述する経済的なPON方式を中心に進められ、1997年に世界ではじめて10Mbit/sを共有するPON方式であるSTM-PONによるアクセスサービスが使用開始された。その後、B-PON, GE-PONと呼ばれるより大容量で経済的なシステムが開発・導入されてきた[6].

*教授 情報システム創成学科
Professor, Dept. of Information Systems Creation

図2に今までに開発されてきた各システムの使用開始時期と光ファイバあたりの伝送容量を示す。破線は年率1.5倍での通信トラフィック増大時の傾きを示している。指数関数的な需要増大傾向に対応して通信容量の大きなシステムが使用開始されてきたことがわかる。今後数年間は2004年に使用開始された概ね1Gbit/s/光ファイバ容量のGE-PONシステムにて、一般ユーザ向けのブロードバンドサービスを提供可能と考えられている。

通信容量 [Gbit/s/光ファイバ]

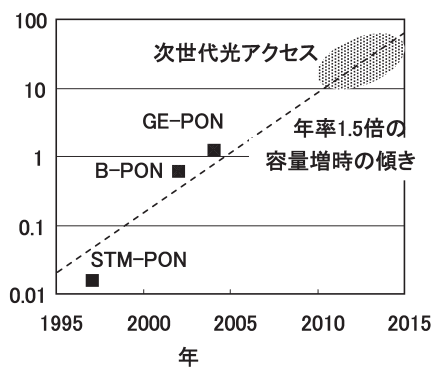


図2 光アクセスシステムの使用開始時期と容量

一方、

- ・ ハイビジョンTVの普及、
- ・ 地方中小都市で撮像した医療画像を遠隔でリアルタイムに診断する遠隔医療をはじめとした超高精細画像通信需要の増大、
- ・ 複数のコンピュータが連携して大規模な計算を行うグリッドコンピューティング、タグによる物品管理など人間より桁違いに多い「もの」と「もの」との通信需要の増大、

などにより、今後も指数関数的な需要増が続くと政府及び有識者は予測している[7]。このような情勢を踏まえて、よりブロードバンドで経済的な次世代ブロードバンドアクセスネットワーク技術構築を目指し、図2の網掛け領域を念頭においた研究・開発が進められている。システム経済化のポイントの一つである標準化についても、アクセスネットワークの標準化に関する議論を行っているFSAN(Full Service Access Network)やIEEEで議論され始めている[8]、[9]。

本稿では、このような次世代光アクセスネットワークを支えるキー技術の現状及び将来動向につき記す。第2節で現在の光アクセスネットワークの概要、第3節、第4節にて次期ブロードバンドアクセスとして有望な2つ

の技術分野の動向を記し、第5節にてまとめる。

2. 光アクセスネットワーク技術

図3は現在使用されている光アクセスシステムの基本構成例である。通信会社内の1つの光送受信装置(OLT: Optical Line Terminal)と複数のユーザ宅の通信装置(ONU: Optical Network Unit)が光ファイバにより、木の幹と葉のような関係でつながっている。このような接続はPoint-to-MultiPoint(P2MP)接続と呼ばれ、携帯電話やPHSなどの無線アクセスシステムにも採用されている。本構成により高価な通信会社側装置および伝送媒体の大半を複数のユーザで共有することでシステムコストの低減を図ることができる。図3に示す構成は光ネットワークでは特にPON(Passive Optical Network)とも呼ばれている。

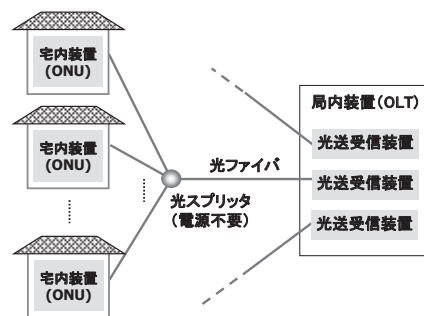


図3 光アクセスネットワークの構成例

一方、P2MP接続では1つの送受信装置と多数の宅内装置間で効率的に通信を行うための方式が必要である。以下に3つの主要な方式を記す。

第1は図4に示す時分割多重-多元接続(TDM-TDMA: Time division multiplexing-time division multiple access)方式である。A'さんからAさん、B'さんからBさん、C'さんからCさんと、複数の情報の通信をまとめて行う場合、TDMでは図4に示すように時間帯を区切って、Aさん、Bさん、Cさんへの通信を行う。このためにOLTではA'さん、B'さん、C'さんからの信号を順次送り出す多重化装置が、また各ユーザ宅のONUでは受信した信号のうち自分の信号のみを取り出す多重分離装置が必要である。TDMAは、複数のONUからひとつのOLTへの方向、以下これを上り方向、逆を下り方向という、の通

信において、各 ONU からの信号が光カップラで合波され同一光ファイバ内を通過する時刻がかさならないように設定し、それぞれの ONU からの信号を順次 OLT で受信する方式である。

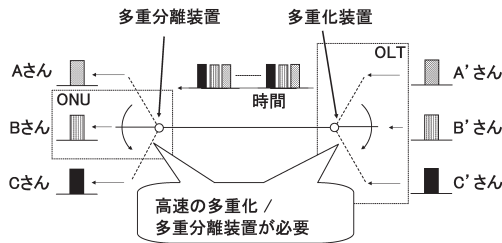


図4 時分割多重方式の基本構成

二つ目は波長分割多重-多元接続（WDM-WDMA: Wavelength division multiplexing-Wavelength division multiple access）方式である。WDM-WDMA方式は例えば図5に示すOLTからONUへの送信において、ONUごとに異なる送信波長を用い、受信側で自ONU宛の信号のみを通過させる分波装置を用いることで、各信号間の干渉なく通信を行う方式である。

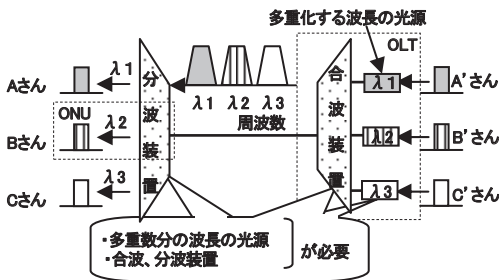


図5 波長分割多重 / 多元接続方式の基本構成

もうひとつは図6に示す構成の符号分割多重-多元接続（CDM-CDMA: Code division multiplexing-Code division multiple access）方式である。これは互いに直交する固有の符号を各ONUに割り当て、送信信号を各固有の符号で広帯域のスペクトルに拡散したのち送信し、受信側で逆拡散といわれる操作によりもとの信号に変換し、受信する方式である。

以下ではこれら3つの方式をTDMA方式、WDMA方

式、CDMA方式と記す。光アクセス系に適用した場合の3方式の得失を表1に示す。

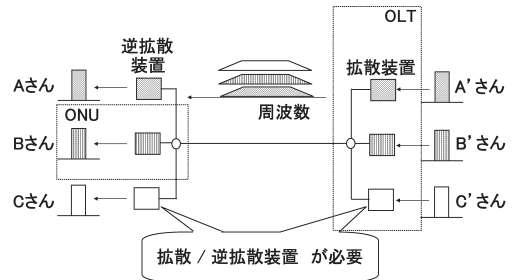


図6 符号分割多重 / 多元接続方式の基本構成

表1 光アクセスにおける各種多重化/多元接続方式の得失

	TDMA	WDMA	CDMA
主要部品の実現容易性	○	○	△
OLTの小型化、経済化	○	△	△
周波数利用効率	△	○	◎
チャンネル追加の容易性	△	○	◎

TDMA方式は、OLT内にひとつの光源と受光素子があればPON接続された全てのONUと通信可能なため装置の小型化・経済化が容易で今の光アクセスネットワークに使用されている。一方、電気回路や光源、受光素子の応答速度により多重数が制限されるため10～数十Gbit/s程度以上の経済的な高速化は容易ではない。このため光ファイバのもつ広帯域性を十分生かせる方式とはいえない。

WDMA方式では、送受信機内の光源として発振波長が重ならない多数の光源を用いることで、光ファイバの広帯域性を有効に活用した非常にブロードバンドなシステム構築が可能である。一方で、波長多重数の光源がOLTに必要なためコストが高止まりしやすいなどの課題がある。

CDMA方式では周波数利用効率を最も高くでき、また通信に使用するチャンネル容量も容易に変動の特長から携帯電話システムに使用されている。しかし、CDMA方式の提案は60年以上前になされたが長らく軍事など高価でも使用価値のある分野への適用に限られていた。一般ユーザ用としては、携帯電話の第2世代以降と最近であることから垣間見られるように、拡散、逆拡散装置などの装置、構成部品への要求条件が非常に厳しく、一般ユーザ向けに求められる小型化、経済化の実現には相当の

技術開発が必要である。光通信においても CDMA 方式は精力的に研究はなされているが、光領域での拡散、逆拡散用デバイスやそれらの素子を有効活用する方式の提案など実用化に向けて検討すべき課題は多い。

以上から、次世代システムへの適用を考えると OLT あたりの総通信容量が数 Gbit/s/光ファイバ程度なら TDMA 方式、数 Gbit/s/光ファイバ～10Gbit/s/光ファイバなら状況に応じて TDMA 方式あるいは WDMA 方式、それ以上なら現状では WDMA 方式が有望といえる。

また、PON に接続された ONU をいくつかのサブグループに分け、サブグループ内の ONU の信号を TDMA 方式で多重したのち、さらに複数のサブグループの信号を WDMA 方式で多重する、TDMA-WDMA ハイブリッド方式も有望な方式として挙げられる。

以上に記した次世代光アクセス技術で想定されうる今後の展開を図 7 に記す[10]。

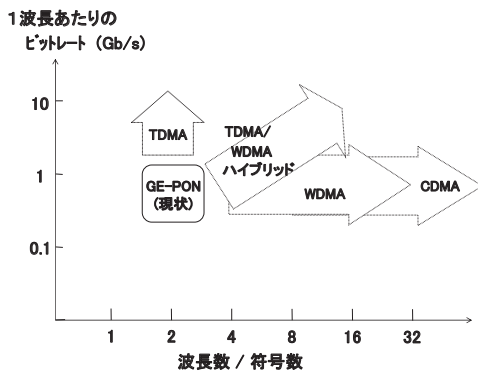


図7 次世代アクセス方式の動向

3. 時分割多重技術の課題と動向

現在、光アクセス系では～1Gbit/s/光ファイバの TDMA 方式が用いられている。イーサネットと同じインタフェースとすることでイーサネット汎用部品の活用による装置コストの低減が図られている。Ethernet の頭文字をとって E-PON、あるいは特にギガビットの容量を持つことを意識して GE-PON と呼ばれる。

現在はさらに時分割多重度を上げた 10Gbit/s/光ファイバの光アクセスシステムが研究されている。すでに 1996 年に実用化された 10Gbit/s/光ファイバのコアネットワーク用の各種技術を活用することで経済化が期待で

きる。一方、新たに研究すべき主要技術としてはバースト受信技術が挙げられる。図 8 に示すとおり、OLT へは各 ONU から個別に光信号が送信される。また各 ONU と OLT 間の光ファイバ長、従って伝送損失が異なるため送信 ONU ごとに受信光電力も大きく異なる。このため受信装置では、ONU ごとにパルス有無を判別する最適光電力しきい値が大きく異なり、判別するタイミングも一致しない受信パルス列を次々即座に受信できるバースト受信技術が求められる。

10Gbit/s/光ファイバでは、電気部品及び光変調器、受光素子の応答性能限界のため上記の要求条件を満たすバースト受信が困難であった。しかし今春受信信号の高速応答を可能とする受信系構成法の提案がなされ実験的にもその有効性が示されたことで今後実用化にむけた展開が期待されるようになった[11]。表 2 に従来の 10Gbit/s 光アクセス受信機の最高性能レベルの特性例[12]及び商用化されている GE-PON の標準化規格と対比した特性を示す。プリアンプタイムは、バーストパルス受信開始から受信信号の判別が可能になるまでの所要時間である。この間ダミー信号を送信することで受信パルス有無の最適識別レベルやクロックタイムと呼ばれる識別時期の最適化を行う。また、ガードタイムはひとつの ONU からのバースト信号受信終了ののち、次の ONU からの信号を受信開始準備完了までの時間で、OLT 内の光受信機の応答速度に左右される。この 2 つの時間はともに通信不能なため十分小さいことが望ましい。

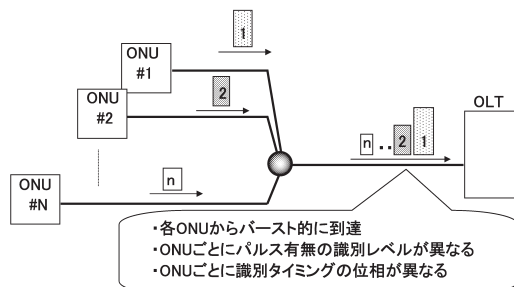


図8 バースト光受信に関する課題

表2のとおり、従来の 10Gbit/s での報告に比べ、参考文献[11]では桁違いに早い応答速度を実現し、商用化されている 1Gbit/s システムの標準化規格も十分満足する結果が得られていることから 10Gbit/s 時分割多重でも同様の高効率な多重化が期待できる。

表2 パースト光受信機の応答速度

項目	単位	Ref. [1]	Ref. [2]	IEEE 802.3ah
ビットレート	Gbit/s	10.3125	10.3125	1.25
プリアンプ タイム	ns	75	980	800
	bit	768	10106	1000
ガードタイム	ns	99.3	100000	1024
	bit	1024	103125	1280

4. 波長分割多重技術の現状と動向

コアネットワークでは、当初 TDM の多重度を上げることで大容量化が行われてきた[3]。しかし、10Gbit/s を超える高速化には回路部品の応答速度や通信路での波形歪増大などの課題があり、以後は概ね WDM 方式による大容量化が進められている[4]、[5]。

アクセス系においても、10Gbit/s/光ファイバ以上は同様の理由から WDMA 方式を用いたシステムが有望視されている。すでにコアネットワークで確立した波長多重技術を用いれば、大容量化自体は可能である。しかし、アクセス系で最も重視される経済性を勘案すると以下に示す主要課題の解決が望まれる。現在一般に敷設されている 32 分岐の PON への WDMA 方式の適用を考えると、OLT と 32 個の ONU 間の 32 組の送受信波長の組み合わせが必要となる。この場合、例えば 32 種類の ONU の製造やユーザへのサービス開始時の波長割り当て、当該波長の ONU の配布を前提とすると、装置費用も稼動もかなり経済的ではない。

上記構成に替えて 1 種類の ONU を PON に接続したときに送受信波長が上記 32 通りの組み合わせのひとつに、安価かつ適切に設定できる装置及びシステムが実現できれば上記の課題を解決できる。このような ONU の実現方式をカラーレスと読んでおり、各種提案・研究がなされている[13]。

大きくは、図 9 記載の 2 つの方式に大別される。波長供給方式は、OLT から供給された光をユーザ宅からの通信に用いる方式である。もうひとつは、各ユーザ宅にある ONU に光源を内蔵させ OLT から上り発振波長を遠隔制御する方式である。

前者は光源を内蔵しないユーザ宅装置内を安価にしやすい。また温度によって変化しやすい光源波長は、温度管理が容易な通信会社側装置に光源を内蔵することで光源波長の安定化を容易にできる。

しかし、通信会社から供給した光は、ユーザから戻ってくる信号光と干渉するため、上り下りを同一光ファイバで伝送する現在の PON 構成を用いる場合、数 Gbit/s 以下の通信しかできないという欠点がある。

ONU 光源内蔵方式では、光源波長を制御する方式や、図 10 に示す広い発信波長で発光する光源出力を光フィルタ透過波長を制御して切り出す方式（スペクトルスライス方式）が提案されている。広い発信波長をもつ光源の場合、受信時の雑音が大きく高速受信が困難なため、数 Gbit/s 程度以下の容量に制限される。

以上から WDMA 方式を用いた高速伝送に向けては波長可変光源を用いた方式を中心に研究が進められている。

実現方式	波長供給方式		ONU光源内蔵方式	
	注入同期	コヒーレント光 波長供給	波長可変LD	スペクトル スライス
ONU構成				
変調方式	直接変調 (インコヒーレント光 を供給)	外部変調 (コヒーレント光 を供給)	外部/直接変調	直接変調
伝送速度(上り)	～ 1.25Gbps	～ 10Gbps		～ 1.25Gbps
ONUでの 波長制御有無	有			
所要ファイバ数	2 (1の場合は 短伝送距離)	1		

TLD: 波長可変レーザー BLS: 広帯域光源 FP-LD: ファブリペローレーザーダイオード
OR: 光受信器 Mod+amp: 光増幅器+外部変調器 : 波長可変フィルタ
→ : OLTからの供給光 ← : 供給光を使用した上り光信号

図9 各種カラーレス方式

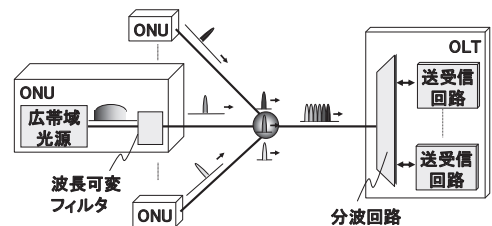


図10 スペクトルスライス方式の構成例

波長可変光源を用いた方式での主な課題は、

- (1) ユーザが ONU を設置した段階で、その ONU の発振波長、受信側での受光波長を低コストでプラグアンドプレイに設定できる技術、
- (2) 1つの PON 内の OLT、ONU にある多数の送信光源の低価格化を可能とする技術

が挙げられる、

(1) については、イーサネットにおける CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) と同様のプロトコルにて追加の光源を用いることなく安価にかつ確実に設定できる方式の提案、実験的検証が最近なされた[14]、

(2) については、1つの波長検出用光フィルタで OLT 内の全ての光源及び全ての ONU 内の光源の波長ずれを高精度に検出の上、各光源を安定化させる方式が提案、検証されている[15]、[16]。またさらに 1GHz 程度の光源波長安定度を許容できる場合には、波長検出することなく光源波長をより簡便に安定化させる方式も提案のうえ、実験的な確認を行ったとの報告もある[17]。

4.1 ONU 波長設定のプラグアンドプレイ技術

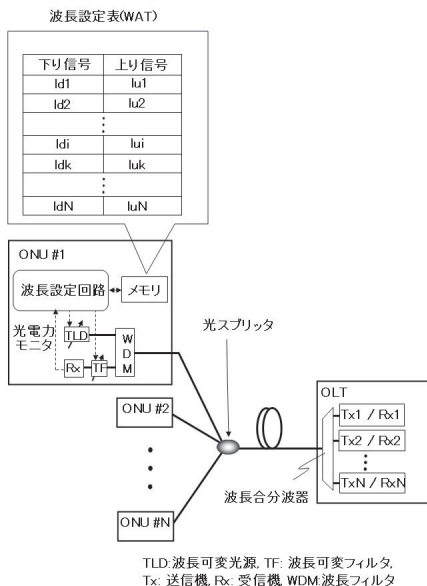


図11 遠隔波長設定手順

ONU 波長設定のプラグアンドプレイを可能とする波長設定手順案を以下に示す[14]。

1. ONU から OLT への上り信号及び OLT から ONU への下り信号の波長対をあらかじめ決定しておく。例えば、最大 N 個の ONU を接続できる PON の場合、(上り信号の波長、下り信号の波長) として、 $(\lambda_{u1}, \lambda_{d1})$, $(\lambda_{u2}, \lambda_{d2})$, \dots , $(\lambda_{uN}, \lambda_{dN})$ の対を決定しておく。
2. ONU が PON に接続された時点で、ONU 内の波長フィルタにより、OLT から送信されている信号波長を測定する。
3. OLT から送信されていない信号波長のひとつに対応した上り信号波長を ONU 内のメモリで読み取り、その波長で送信する。
4. OLT は、ひとつの ONU からのみ 3. で送信された波長を受信した場合、対応した下り信号波長で ONU に送信波長対確立の旨の信号を送信する、同一波長で 2 個以上の ONU から信号を受信した場合は返信しない。
5. ONU は一定時間内に OLT からの返信がない場合は、ランダムな時間ののち、2 以降の動作を繰り返す。

これにより、波長設定用の光源など新たな光部品を追加することなく、確実に波長設定を行える。

$N=8$ の PON において当初 5 台の ONU が通信中の状態ののち複数の ONU を同時に PON に接続させる実験により、上記手順の妥当性の検証結果も報告されている[14]。

4.2 PON で用いる複数光源波長制御信号の一括検出

PON に接続された全ての ONU 内の光源波長の誤差を一括検出の上、一定間隔に制御する経済的な系構成提案を図 12 に示す[15]。ONU#1~#N の送信光信号は、OLT 内の光合分波器で ONU ごとの各波長に分離されたのち、送受信機#1~#N でそれぞれ受信される。このため、光合分波器には第 i ポートは ONU # i の光源波長のみ透過する 1 ポート入力、 N ポート出力の光合分波器を用いる。ここで各 ONU の光源波長を正弦波で微小変調させ最大値制御を行う。誤差検出用光信号は OLT 内の各送受信器で電気信号に変換の後、誤差信号に変換され、同じ送受信機の送信光信号に波長制御信号を重畳させることで各 ONU の送信波長を制御する。本方式は、PON の光合分波器を波長誤差検出にも兼用させているため検出用の分波器が不要で経済的である。また光源波長を微小変動させる以外に光合分波器の N 個の最大透過波長を一括変動させる方法でも同様の一括検出が可能である。この方式では ONU 内に発信機が不要なためより経済的となる。ま

上記 ONU の波長制御系と同様の方法で OLT 内の送信光源の発振波長も一括検出可能である[16].

本技術及び 4.1 に示した技術を用いた簡便な構成の ONU, OLT で敷設済み損路と同等の損失の光ファイバで 1.25Gbit/s を 8 波長多重可能との検証結果も報告されており, 実用システムへの適用が期待される[17].

4.3 光フィルタを用いない波長設定, 制御法

前節の波長安定化法では, 光通信用光源である半導体レーザは, 温度及び駆動電流量によって発振波長が大きく変化するため, 検出波長情報に基づく波長制御が必要との考えに基づいている.

これに対し, 光源の駆動電流, 温度と発振波長の関係を精密に把握することで, 波長検出することなく駆動電流・温度の制御のみの簡易な波長制御方式も検討されている. 半導体レーザの経時劣化を考慮しても, 温度と駆動電流を高精度で設定することで $\pm 1\text{GHz}$ 程度の安定度を得られるとの可能性も示され[18], 高い周波数密度で波長多重されている 50G~100GHz 間隔の波長多重システムへの適用も念頭においた研究が進められている.

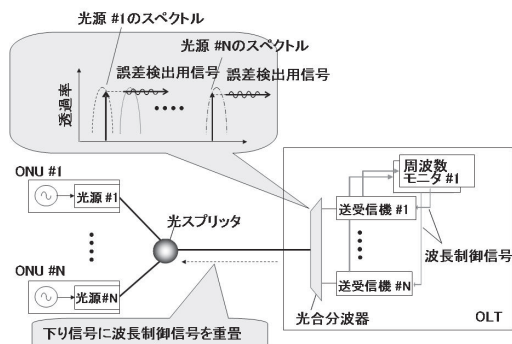


図 12 複数光源波長の一括制御系

5. まとめ

より快適な社会の実現に向けたブロードバンドネットワーク技術のうち、アクセス系の現状と近未来といえる次世代に向けた研究動向に焦点をあてて記した。

この分野では更なる将来へ向け光アクセス用の CDMA や光ヘテロダイン検波方式などの最先端分野を含め活発に研究がなされており, 今後の進展が注目される。

参考文献

[1] 長健二郎 インターネットと計測技術, iij.news pp.8 - 9, vol. 80, Jan./Feb., 2007.

[2] IX Backplane Maximum/Minimum Traffic Volume, <http://www.jpix.ad.jp/jp/technical/traffic.html>.

[3] M. Murakami, T. Takahashi, M. Aoyama, T. Imai, M. Amemiya, M. Sumida and M. Aiki, "System Performance Evaluation of the FSA Submarine Optical Amplifier System," IEEE J. Lightwave Technol., Vol., 14, No. 12, pp. 2657 - 2671, Dec., 1996.

[4] M. Murakami, T. Matsuda, H. Maeda, Y. Tada, and T. Imai, "WDM Upgrading of an Installed Submarine Optical Amplifier System," IEEE Lightwave Technol., Vol. 19, No. 11, pp. 1665 - 1674, Nov., 2001.

[5] 織田一弘, 戸出武男, 片岡智由, 佐野明秀, 須藤篤史, 小池良典, 久保勉, 松岡伸治, "ラマン増幅を用いた商用大容量 L バンド DWDM システム," 電子情報通信学会 2005 年秋通信ソサイエティ大会, B-10-44, 2005.

[6] H. Shinohara, "Broadband Access in Japan: Rapidly Growing FTTH Market," IEEE Communication Magazine, pp. 72-78, September, 2005.

[7] 総務省報道発表資料 別添 我が国のインターネットにおけるトラフィック総量把握 http://www.soumu.go.jp/s-news/2007/pdf/070822_2_bt1.pdf 2007 年 8 月 22 日

[8] 坪川信 FTTH に関する標準化動向, 次世代ブロードバンド技術の利用環境整備に関する研究会資料, 2007 年 4 月 27 日

[9] FSN ホームページ <http://www.fsanweb.org/nga.asp>

[10] T. Imai, "FTTH Systems: Deployment and Next Challenges", Tenth International Symposium on Contemporary Photonic Technology, Tokyo, Japan, Tech. Dig. B-2, pp17-20, Jan. 10-12, 2007.

[11] S. Nishihara, S. Kimura, T. Yoshida, M. Nakamura, J. Terada, K. Nishimura, K. Kishine, K. Kato, Y. Ohtomo, and T. Imai, "A 10.3125-Gbit/s SiGe BiCMOS Burst-Mode 3R Receiver for 10G-EPON Systems," Optical Fiber Communication Conference (OFC2007), Mar. 25-29, 2007, Anaheim, California, U.S.A., Tech. Dig. PDP8.

[12] N. Suzuki, J. Nakagawa, "A 10G-PON Physical Medium Layer link with new 10.3-Gbit/s LAN-PHY based Optical Interfaces for Future PON Networks," European Conference on Optical Communication (ECOC2006), Sept., 24-28, 2006, Cannes, France, Tech. Dig. Mo.4.5.4.

[13] Y. Kani, K. Iwatsuki and T. Imai, "Optical multiplexing technologies for access-area applications," IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., Vol. 12, No. 4, pp. 661-668, Jul./Aug., 2006.

[14] H. Suzuki, M. Fujiwara, T. Suzuki, N. Yoshimoto, K.

Iwatsuki, and T. Imai, "Colorless and plug-and-play technologies for WDM access over existing power-splitter-based infrastructure," Optical Society of America, Journal of Optical Networking, Vol. 6, No. 7, 830-839, 2007.

[15] M. Fujiwara, H. Suzuki, N. Yoshimoto and T. Imai, "Centralized Wavelength Monitoring/ Stabilization Technique by Dithering Temperature of LD in Power-Splitter-Based WDM-PON", Optical Fiber Communication Conference (OFC2007), Mar. 25-29, 2007, Anaheim, California, U.S.A., Tech. Dig. JWA84.

[16] T. Suzuki, H. Suzuki, M. Fujiwara, N. Yoshimoto, K. Iwatsuki, and T. Imai, "Simple Multi-wavelength Stabilization Technique Using a Periodic Optical Filter for WDM Access Networks", The 12th Optoelectronics and Communications Conference (OECC2007), July 9-13, 2007, Yokohama, Japan, Tech. Dig. 11A2-3.

[17] H. Suzuki, M. Fujiwara, T. Suzuki, N. Yoshimoto, H. Kimura and M. Tsubokawa, "Wavelength-Tunable DWDM-SFP Transceiver with a Single Monitoring Interface and Its Application to Coexistence Type Colorless WDM-PON," European Conference on Optical Communication (ECOC2007), Sept., 16-20, 2007, Berlin Germany, Tech. Dig. PD 3.4.

[18] S. Kawai, N. Yoshimoto, K. Iwatsuki and T. Imai, "Simple and cost effective wavelength setting and monitoring method using software-based wavelength estimation for WDM pluggable optical transceiver", Optics East, Sept. 9-12, 2007, Boston, U.S.A., Paper 6775-13.